



Opening Photo - The aurora borealis. The source of the auroras is the sun. The sun gives off ions and a "cloud" of such ions and electrons is called a plasma. The stream of plasma comes from the sun (the solar wind). As the solar wind interacts with the fringes of the earth's magnetic field, the particles are "shocked" into flowing around the earth. Some of the particles are trapped by the earth's magnetic field. They follow the magnetic lines of force down to the ionosphere. The particles strike the gases in the ionosphere, causing them to glow. The colors correspond to the different gases in the ionosphere.

**Foto d'Apertura**  
L'aurora boreale. La sorgente delle aurore è il sole. Il sole emette ioni; una "nuvola" di tali ioni ed elettroni è chiamata plasma. Il flusso di plasma arriva dal sole (vento solare). Appena il vento solare interagisce con le frange del campo magnetico terrestre, le particelle sono "scosse" nel loro fluire intorno alla terra. Alcune di queste particelle sono intrappolate dal campo magnetico terrestre. Seguono le linee di forza magnetiche giù fino alla ionosfera. Le particelle colpiscono i gas nella ionosfera, facendoli brillare. I colori corrispondono ai diversi gas nella ionosfera.

**S**puttering is a process whereby atoms are ejected from a solid target material due to bombardment of the target by energetic ions. It is commonly used for thin-film, etching and analytical techniques.

Physical sputtering is driven by momentum exchange between the ions and atoms in the material, due to collisions.

The incident ions set off collision cascades in the target. When such cascades recoil and reach the target surface with an energy above the surface binding energy, an atom can be ejected. If the target is thin on an atomic scale the collision cascade can reach the back side of the target and atoms can escape the surface binding energy "in transmission". The average number of atoms ejected from the target per incident ion is called the sputtering yield and depends on the ion incident angle, the energy of the ion, the masses of the ion and target atoms, and the surface binding energy of atoms in the target.

**L**o sputtering è un processo per il quale si ha emissione di atomi da un materiale solido detto bersaglio (target) bombardato da particelle cariche di energia, solitamente ioni. E' comunemente usato per film sottili, per tecniche analitiche e di pulizia.

Lo sputtering fisico è provocato da un momento di scambio tra ioni e atomi all'interno del materiale, dovuto alle collisioni. Gli ioni incidenti provocano una cascata di collisioni sul bersaglio. Quando queste cascate si ritirano e raggiungono la superficie del bersaglio con un'energia superiore all'energia di legame superficiale, un atomo può essere espulso. Se il target è sottile su scala atomica la cascata di collisioni può raggiungere la parte posteriore del target e gli atomi possono eludere l'energia di legame superficiale "in trasmissione". Il numero medio di atomi emessi dal pezzo per ione incidente è chiamato "resa di sputtering" e dipende dall'angolo di incidenza dello ione, dall'energia dello ione, dalla massa dello ione, dalla massa degli atomi del bersaglio e dall'energia di legame interatomico del bersaglio.

For a crystalline target the orientation of the crystal axes with respect to the target surface is relevant. The primary particles for the sputtering process can be supplied in a number of ways, for example by a plasma, an ion source, an accelerator or by a radioactive material emitting alpha particles. Here we take into consideration the sputtering process through plasma.

### **What is plasma**

Plasma refers to the fourth condition of the matter. Plasma is a partially or totally ionized gas (fig. 1), thus, that particular gas condition in which neutral molecules, positive ions and free electrons are all present at the same time. In this case, plasma means low energy content: higher or lower energy content defines a "cold" plasma compared to a "hot" one.

Cold plasma used for pre-treatment, cleaning and washing of any kind of substrate is obtained at low pressure (vacuum).

This condition allows reactions to take place in a temperature range of 20 to 30°C, while in conditions of atmospheric pressure these are possible only at temperatures of hundreds of degrees. In fact, despite the low temperature of the gas, the temperature of the electrons is very high (from 20 to 50.000 K) due to the length of the free run of the particles.

This makes possible the treatment of organic materials (like plastics), which do not tolerate high thermic loads. Plasma cleaning is used to remove organic pollutants, while plasma pre-treatment is used to modify the surface characteristics in order to increase the adhesion of the metal onto the substrate, or to prepare the surface for other treatments, like varnishing, gluing and so on.

PECVD (plasma enhanced chemical vapour deposition) is a polymer based process that consists of a transparent coating layer, which can be applied also in the same cycle after the sputter metal deposition and has the following properties:

- anti-corrosion
- hydrophobic / hydrophilic

*Per un bersaglio cristallino l'orientamento dell'asse del cristallo rispetto alla superficie del bersaglio è rilevante. Le particelle primarie per il processo di sputtering possono essere fornite in vari modi, per esempio da un plasma, da una sorgente ionica, da un acceleratore o da un materiale radioattivo che emette particelle alfa. Qui di seguito prendiamo in considerazione il processo di sputtering mediante plasma.*

### **Cos'è il plasma**

*Il termine plasma si riferisce al quarto stato della materia. È un gas parzialmente o totalmente ionizzato (fig. 1), quindi è quella particolare condizione del gas in cui le molecole neutre, gli ioni positivi e gli elettroni liberi sono tutti presenti contemporaneamente. In questo caso, plasma significa basso contenuto di energia: un più alto o più basso contenuto di energia definisce un plasma freddo rispetto a uno caldo. Il plasma freddo usato per il pretrattamento, la pulizia e il lavaggio di qualsiasi tipo di substrato si ottiene a bassa pressione (vacuum). Questa condizione permette alle reazioni di avvenire in un range di temperatura compresa tra i 20 e i 30°C, mentre in condizioni di pressione atmosferica, le reazioni sono possibili solo a temperature di centinaia di gradi. Infatti, nonostante la bassa temperatura del gas, la temperatura degli elettroni è molto alta (da 20 a 50.000 K) a causa della lunghezza della corsa libera delle particelle. Questo rende possibile il trattamento dei materiali organici (come la plastica) che non sopportano alti carichi termici. Il lavaggio al plasma è usato per rimuovere gli inquinanti organici, mentre il pretrattamento a mezzo plasma è utilizzato per modificare le caratteristiche superficiali al fine di aumentare l'adesione del metallo sul substrato, o di preparare la superficie per altri trattamenti come la verniciatura, l'incollaggio e così via. Il PECVD (deposizione chimica da vapore potenziata dal plasma) è un processo a base polimerica che consiste in un strato di rivestimento trasparente che può essere applicato anche nello stesso ciclo dopo la deposizione sputtering del metallo ed ha le seguenti proprietà:*

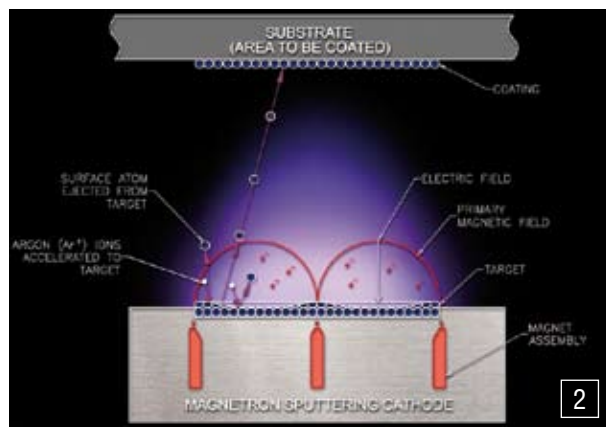
- anticorrosione
- idrofobico/idrofilo

### 2 - Sputtering process

#### 2 - Il processo di sputtering

### 3 - Temperatures of polymers

#### 3 - Temperatura dei polimeri



- fireproof
- scratch proof

### What is Sputtering

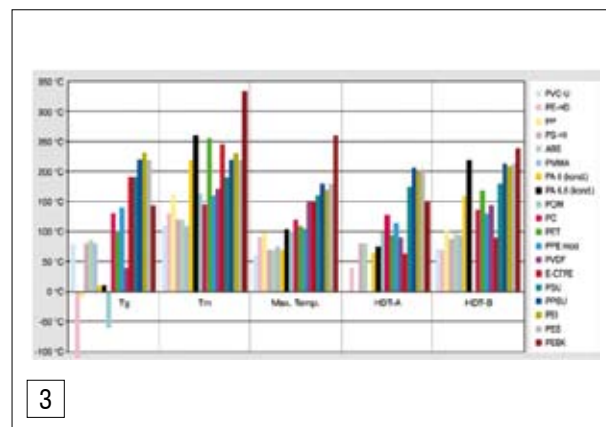
The sputtering (fig. 2) is the deposition of any metals or alloys on any substrates (metal, glass, plastic, fabric, wood...). It has the following characteristics:

- coating with the required thickness
- multilayers
- uniform deposition
- dry process
- low temperature
- clean process
- repeatable

Its main applications are in the following industries: household appliances, handles, furniture components, wheels, helmet visors and also to deposit precious metals like silver to enhance the optic reflectance of surfaces. Sputtering targets are any metals or alloys, such as aluminum, brass, calcium, carbon, chromium, cobalt, gold, magnesium, nickel, palladium, platinum, rhodium, titanium, zinc, and many others.

### Development on polymers

Performance of polymers are constantly improving and therefore fields of applications are quickly increasing. This means requests for new compatible process in order to obtain finishing "like" those that were previously achieved with metals and also brand-new finishes. This is happening for example in the automotive industry and



- protezione dal fuoco
- resistente al graffio

### Cos'è lo sputtering

Lo sputtering (fig. 2) è la deposizione di qualsiasi metallo o lega su qualsiasi substrato (metallo, vetro, plastica, stoffa, legno).

Ha le seguenti caratteristiche:

- è un rivestimento con lo spessore richiesto
  - è multistrato
- è una deposizione uniforme
  - è un processo a secco
  - è a bassa temperatura
  - è un processo pulito
    - è ripetibile

Le sue principali applicazioni sono nei seguenti settori industriali: elettrodomestici, maniglie, componenti d'arredamento, ruote, visiere di caschi ed anche per la deposizione di metalli preziosi come l'argento per migliorare il riflesso ottico delle superfici. I bersagli dello sputtering sono qualsiasi metallo o lega come alluminio, ottone, calcio, carbonio, cromo, cobalto, oro, magnesio, nickel, palladio, platino, rodio, titanio, zinco e molti altri.

### Sviluppo sui polimeri

Le prestazioni dei polimeri sono in costante miglioramento e perciò i settori di applicazione sono in veloce aumento. Questo significa richieste per nuovi processi compatibili allo scopo di ottenere finiture "simili" a quelle che si ottenevano in precedenza con i metalli ma anche nuovi tipi di finitura. È quello che accade ad esempio nel settore automotive e in

Polimer	Rockwell		Shore	indentation hardness [MPa]	
	M	R		H358/30	H961/30
PEEK	99	126			169
PEEK-GL30	103	124			227
PEEK-CA30	107	124			246
PEEK-FC30					175
PEK		108			178
PPS-GL40			D91		{310}
PEI	109			140	
PEI-GL30	114			165	
PES				152	
PES-GL30				217	221
PEU	69			140	
PSU-GL30		124			202
LCP	60-100				
LCP-GL30	80-100				
PPA-GL33		125			
PI (Aurum)	95	129			
PI-GL30	104	128			

4

also with components for household appliances. To achieve the higher performance from the deposition, and follow an economical industrial criteria, the coating and deposition rate need to be faster and this generate temperature in the coating process; the “plastic” substrate can suffer from a thermal shock (fig. 3). When plastic is not enough performing for sputtering deposition, it is possible to improve hardness (fig. 4) and brightness of the substrate applying a UV varnish base-coat.

The advantages of UV paint are:

- improved quality (chemically resistant, scratch-resistant, higher gloss)
- reduced process time
- reduced space requirements for equipment.

In order to eliminate the varnish base-coat, a polymer with the following characteristics is required:

- hardness
- resistance to temperature
- brilliancy
- smooth surface.

**Case Histories**

**SUNAGEN**

The goal of this company was to create and make industrially available materials with innovative surfaces in order to add value to products. Sunagen is equipped with:

- cleaning system
- UV painting line
- sputtering “DGK36” machine (fig. 5).

Among their clients there are companies like Ferrari, Bang & Olufsen



5

*quello dei componenti per elettrodomestici. Per ottenere le prestazioni migliori dalla deposizione, e seguire un criterio economico-industriale, la velocità di rivestimento e deposizione deve crescere e questo genera temperatura nei processi di rivestimento; in questo modo il substrato di plastica può risentire di uno shock termico (fig. 3). Quando il materiale plastico non è abbastanza performante per la deposizione sputtering è possibile migliorare la durezza (fig. 4) e la brillantezza del substrato applicando una vernice di fondo UV. I vantaggi della vernice UV sono:*

- miglior qualità (resistenza agli agenti chimici, resistenza al graffio, maggiore brillantezza)
- tempi-ciclo ridotti
- riduzione dello spazio necessario per l’impianto.

*Allo scopo di eliminare la vernice di fondo, si richiede un polimero con le seguenti caratteristiche:*

- durezza
- resistenza alla temperatura
- brillantezza
- superficie omogenea.

**Case-histories**

**SUNAGEN**

*L’obiettivo di questa società era di creare e industrializzare materiali con superfici innovative allo scopo di dare valore aggiunto ai prodotti.*

*Sunagen possiede:*

- un sistema di lavaggio
- una linea di verniciatura UV
- una macchina sputtering “DGK36” (fig. 5).

*Tra i suoi clienti ci sono società come Ferrari, Bang & Olufsen.*

4 - Hardness of polymers

4 - Durezza dei polimeri

5 - Plasma and sputtering reactor

5 - Reattore plasma e sputtering

### 6 - Silver coatings for antibacterial applications

#### 6 - Vernici all'argento per applicazioni antibatteriche.

#### THALES ALENIA SPACE

Project: the experiment will address effects of the space environment on the developmental process of Nematode species.

There were problem of fungi and mold formation on circuits sent into space. The solution was

found in a silver-Ion treatment. The treatment is based on an activation by cold plasma in vacuum and then a ions deposition of Ag by sputtering Ag ions are absorbed by bacteria, breaking their cell walls, inhibiting reproduction and interrupting metabolism (fig. 6).

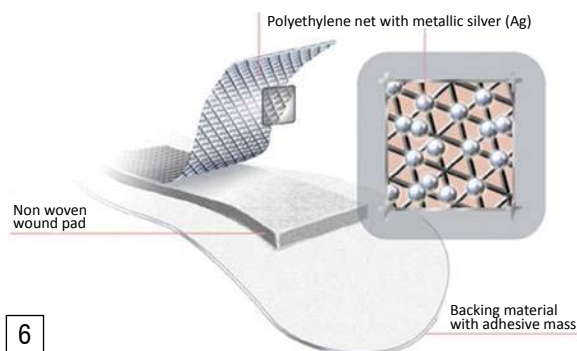
#### Future commitments

The first commitment is to promote the use of vacuum sputtering in industry; then to extend the use of sputtering and nanocomposites on polymers and “techno polymers” as plastic injection is the simplest manufacturing process to produce a 3D part.

Not only sputtering can replace traditional electroplating in many fields, but even more important is that it can give new finishing and conquer new sectors. You can sputter any kind of thermo sensitive substrates because the process is at low temperature, it has no dangerous wastes and reduced space requirements for installation. Never as today have producers of consumer goods used coatings to add value to their product. PVD processes enable almost unlimited production of coatings on any type of surface.

As far as coatings with the “metallic effect” are concerned having high abrasion and chemical resistance, mainly chrome and stainless steel depositions, or carbides and nitrides of transition metals (for example titanium and zirconium) are produced.

In addition to having characteristics of hardness and resistance to abrasion, innovative colours can be obtained for decorative motifs applied to the surfaces of high quality consumer goods.



#### THALES ALENIA SPACE

Progetto: l'esperienza riguardante gli effetti dell'ambiente spaziale sul processo di sviluppo della specie Nematode.

C'era un problema di formazione di funghi e muffa sui circuiti spediti nello spazio. La soluzione fu trovata in

un trattamento con ioni d'argento. Il trattamento è basato su un'attivazione con plasma freddo sottovuoto e successiva deposizione di ioni Ag attraverso lo sputtering di ioni Ag che sono assorbiti dai batteri, rompendo le loro pareti cellulari, inibendo la riproduzione ed interrompendo il metabolismo cellulare.

#### Impegni futuri

Il primo impegno è promuovere l'uso dello sputtering sottovuoto nell'industria; poi estendere l'uso dello sputtering e dei nanocompositi su polimeri e “tecnopolimeri” dal momento che l'iniezione di plastica è il più semplice processo manifatturiero per produrre pezzi tridimensionali. Non solo lo sputtering può sostituire la tradizionale galvanica in molti campi, ma l'aspetto molto più importante è che può fornire nuove finiture e conquistare nuovi settori. Si può usare lo sputtering con ogni tipo di substrato termo-sensibile poiché il processo è a bassa temperatura, non ha nessuno scarto pericoloso e richiede uno spazio ridotto per l'installazione. Mai come oggi i produttori di beni di consumo hanno usato le vernici per dare valore aggiunto ai loro prodotti. I processi PVD consentono produzioni praticamente illimitate di rivestimenti su qualsiasi tipo di substrato. Per quanto riguarda i rivestimenti con “effetto metallico” aventi resistenza chimica e all'abrasione, sono prodotti principalmente con deposizioni di cromo e acciaio inox o carburi e nitriti di metalli di transizione (per esempio titanio e zirconio). Oltre ad avere caratteristiche di durezza e resistenza all'abrasione i colori innovativi possono essere ottenuti per motivi decorativi applicati a superfici di prodotti di consumo di alta qualità.

As well as being the cleanest technology among the coating techniques, sputtering gives a combination of advantages like no other:

- it is a method of production which is economically efficient generating the thinnest and most uniform coating possible.

- It is a dry process at low temperature

- It forms an indestructible bond between film and substrate (since it binds them together at a molecular level)

- It offers great versatility compared to other coatings, since being a cold transfer, it can be used for the deposition of conducting or non conducting material on any type of substrate, including metals, ceramics and plastic materials which are temperature sensitive. In addition, the process has a deposition control which can be repeated in the automatic mode. Therefore, this solution adopted to create new, more resistant, lighter, cleaner and more economical materials not only revolutionizes our industry but everyday life.

*Oltre ad essere la tecnologia più pulita fra le tecnologie di rivestimento, lo sputtering dà una combinazione di vantaggi come nessun'altra tecnologia:*

- è un metodo produttivo economicamente efficiente che garantisce il rivestimento più sottile e più uniforme possibile*

- è un processo a secco a bassa temperatura*

- crea un legame indistruttibile tra il film e il substrato (dal momento che li lega insieme a livello molecolare)*

- offre una grande versatilità rispetto ad altri*

- rivestimenti; essendo un trasferimento a freddo può*

- essere usato per la deposizione di materiali conduttivi*

- e non conduttivi su qualsiasi tipo di substrato, incluso*

- metalli, ceramica e materiali plastici che sono sensibili*

- alla temperatura. Inoltre il processo ha un controllo*

- di deposizione che può essere ripetuto in modo*

- automatico. Perciò questa soluzione utilizzata per*

- creare materiali nuovi, più resistenti, più leggeri, più*

- puliti e più economici non solo rivoluzionerà la nostra*

- industria ma la vita di tutti i giorni.*